

清华大学计算机系列教材

数据库系统设计 与原理

清
／
华
／
大
／
学
／
计
／
算
／
机
／
系
／
列
／
教

冯建华 编著
周立柱

11.13



清华大学出版社

清华大学计算机系列教材

数据库系统设计与原理

冯建华 周立柱 编著

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书主要讲述数据库系统的设计与原理,第1章到第6章主要介绍数据库的设计内容和设计方法,包括数据库的概念设计、逻辑设计和物理设计,相关的模型主要介绍了实体-联系模型和关系模型。第7章和第8章主要介绍数据库的底层存储结构和索引的细节,侧重于文件组织、文件结构和索引结构。第9章到第11章主要介绍数据库管理系统的核心技术:包括查询处理、事务管理、并发控制和故障恢复等。第12章和第13章主要介绍数据库管理系统体系结构的扩展和数据库技术的研究进展以及当前出现的一些新的有关数据库研究的课题和应用领域。

本书可作为高等院校计算机专业本科生的数据库课程的教材,也可以作为其他科技人员和高校教师的参考书。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13901104297 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

数据库系统设计与原理 / 冯建华,周立柱编著. —北京:清华大学出版社,2004

(清华大学计算机系列教材)

ISBN 7-302-08811-X

I. 数… II. ①冯… ②周… III. 数据库系统—高等学校—教材 IV. TP311.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 055496 号

出 版 者: 清华大学出版社

地 址: 北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn>

邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175

客 户 服 务: 010-62776969

责任编辑: 马瑛珺

印 装 者: 清华大学印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×260 印 张: 16.25 字 数: 369 千字

版 次: 2004 年 7 月第 1 版 2004 年 7 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-08811-X/TP·6250

印 数: 1~5000

定 价: 24.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770175-3103 或(010)62795704

作者简历



冯建华,男,山西运城人,1967年8月出生,副教授,现在清华大学计算机科学与技术系软件研究所工作。1986年从运城康杰中学考入清华大学计算机科学与技术系,1991年免试推荐直读清华大学计算机科学与技术系工学硕士研究生,1993年硕士毕业后留校工作至今,期间曾作为技术顾问在联合国国际原子能机构(IAEA,位于奥地利首都维也纳)工作近两年时间。现正在攻读清华大学计算机科学与技术系在职博士学位。

主要研究方向为:数据库、数据仓储、XML数据库和WWW环境下的信息处理。曾参加了两项国家863项目的开发工作,负责一项国家973项目的子课题“万维网上的数据集成、数据仓储和知识发现的有效算法与软件系统”的研究工作。目前正在率领一个小组开发Native XML Database Management System。参与了计算机系两个大项目:“玉溪卷烟厂信息管理与决策支持系统”和“联合国IAEA技术合作局 workflow 系统”的设计与开发工作。目前已在国内核心期刊和国际会议上发表论文30多篇,其中被EI收录的十多篇。完成的数据库教材主要有《数据库系统设计与原理》和《SQL Server 数据库原理——设计与实现》。



周立柱,清华大学计算机系教授,博士生导师。1970年毕业于清华大学自动控制系,1983年在加拿大多伦多大学获计算机科学硕士学位。目前是国家教育部科技委委员;国家教育部计算机专业教学指导委员会副主任委员;中国计算机学会数据库专业委员会副主任委员。目前主要从事的研究方向为:数据库系统,数字化图书馆,Web与海量数据处理技术等。

QJ5181/71

序

清华大学计算机系列教材已经出版发行了近 30 种,包括计算机专业的基础数学、专业技术基础和专业等课程的教材,覆盖了计算机专业大学本科和研究生的主要教学内容。这是一批至今发行数量很大并赢得广大读者赞誉的书籍,是近年来出版的大学计算机教材中影响比较大的一批精品。

该系列教材的作者都是我熟悉的教授与同事,他们长期在第一线担任相关课程的教学工作,是一批很受大学生和研究生欢迎的任课教师。编写高质量的大学(研究生)计算机教材,不仅需要作者具备丰富的教学经验和科研实践,还需要对相关领域科技发展前沿的正确把握和了解。正因为该系列教材的作者们具备了这些条件,才有了这批高质量优秀教材的出版。可以说,教材是他们长期辛勤工作的结晶。系列教材出版发行以来,无论从其发行的数量、读者的反映、已经获得的许多国家级与省部级的奖励以及在各个高等院校教学中所发挥的作用上,都可以看出该系列教材所产生的社会影响与效益。

计算机科技发展异常迅速、内容更新很快。作为教材,一方面要反映本领域基础性、普遍性的知识,保持内容的相对稳定性;另一方面,又需要跟踪科技的发展,及时地调整和更新内容。该系列教材都能按照自身的需要及时地做到这一点,如《计算机组成与结构》一书十年中共发行了三版,其他如《数据结构》等也都已发行了第二版,使教材既保持了稳定性,又达到了先进性的要求。该系列教材内容丰富、体系结构严谨、概念清晰、易学易懂,符合学生的认识规律,适合于教学与自学,深受广大读者的欢迎。系列教材中多数配有丰富的习题集和实验,有的还配备多媒体电子教案,便于学生理论联系实际地学习相关课程。

随着我国进一步的开放,我们需要扩大国际交流,加强学习国外的先进经验。在大学教材建设上,我们也应该注意学习和引进国外的先进教材。但是,计算机系列教材的出版发行实践以及它所取得的效果告诉我们,在当前形势下,编写符合国情的具有自主版权的高质量教材仍具有重大意义和价值。它与前者不仅不矛盾,而且是相辅相成的。

我希望今后有更多、更好的我国优秀教材的出版。

清华大学计算机系教授,中科院院士

张钹

2002 年 6 月 25 日

前 言

长期以来各大学在从事计算机系本科生的数据库系列课程的教学实践中,我们感觉到在教材方面普遍存在着两个方面的问题,一是教材更新的速度慢,不能充分反映当前数据库技术的发展以及扩展研究进展;二是教学内容相对简单,学生常常感觉到没有真正学到有关数据库管理系统的核心知识。基于以上原因,清华大学计算机科学与技术系软件所的数据库研究课题组在多年数据库系列课程教学的基础上,并根据对本科生数据库大学本科课程教学内容的改革的精神,编写了这本书。

本书包含 13 章。第 1 章到第 6 章是有关数据库设计的内容,主要介绍数据库的设计内容和设计方法以及数据库管理系统(DBMS)在实际工作中的应用。其中包括数据库的概念设计、逻辑设计和物理设计,相关的模型主要介绍了实体-联系模型和关系模型。第 7 章和第 8 章是有关数据存储的内容,主要介绍数据库的底层存储结构和索引的细节,侧重于文件组织、文件结构和索引结构。第 9 章到第 11 章是有关 DBMS 内核的内容,主要介绍数据库管理系统的核心技术:包括查询处理、事务管理、并发控制和故障恢复等。第 12 章和第 13 章是有关数据库管理系统的结构扩展和数据库技术的前沿研究的内容,主要介绍数据库管理系统体系结构的扩展和数据库技术的学术研究进展,以及当前出现的一些新的有关数据库研究的课题和应用领域。

本书主要由冯建华负责编写,齐畅和孙静负责本书教学用例的设计,周立柱对全书进行了审阅。在编写过程中,作者参考了国内外有关数据库技术的书刊和文献资料,尤其是本书所列的参考教材、参考书及其他参考资料,以及清华大学计算机科学与技术系的论文及科研成果报告。但是由于数据库技术及其扩展研究正处在蓬勃发展的阶段,新的文献资料搜集的还很不完整。限于水平和经验,书中难免会有缺点和不足,恳请读者给予批评指正。

本书的编写得到作者所在的数据库课题研究小组其他成员和清华大学出版社的大力支持,在此表示衷心的感谢。

编 者

2004 年 4 月于清华园

目 录

1 引言	1
1.1 数据库管理系统的产生	1
1.1.1 数据管理的进展	1
1.1.2 文件处理系统	2
1.1.3 数据库管理系统	4
1.2 数据视图	4
1.2.1 数据抽象	4
1.2.2 实例和模式	6
1.2.3 数据独立性	7
1.3 数据模型	7
1.3.1 数据模型的分类	7
1.3.2 实体-联系模型	8
1.3.3 面向对象模型	9
1.3.4 关系模型	10
1.3.5 网状模型	10
1.3.6 层次模型	11
1.4 数据库语言	12
1.4.1 数据定义语言	12
1.4.2 数据操纵语言	12
1.5 事务管理	12
1.5.1 问题的提出	12
1.5.2 事务的定义	13
1.5.3 事务管理器	13
1.5.4 并发控制管理器	13
1.6 存储管理	13
1.7 数据库用户	13
1.8 数据库管理系统的总体结构	14
1.8.1 查询处理器部件	14
1.8.2 存储管理器部件	15
1.8.3 必要的数据结构	15
1.9 商业数据库管理系统	16
1.9.1 Oracle 数据库系统	16
1.9.2 Sybase 数据库系统	16
1.9.3 Microsoft 与 IBM 数据库系统	17
小结	17

习题	18
2 实体-联系模型	19
2.1 基本概念	20
2.1.1 实体集与属性	20
2.1.2 属性类型的划分	20
2.1.3 联系集与属性	21
2.2 E-R 模型设计中的问题	23
2.2.1 用实体集还是用属性	23
2.2.2 用实体集还是用联系集	23
2.2.3 用二元联系集还是 n 元联系集	24
2.3 映射约束	25
2.3.1 映射基数	25
2.3.2 映射基数与联系集的属性位置	26
2.3.3 存在依赖	27
2.4 码	28
2.4.1 码的作用	28
2.4.2 实体集的码	28
2.4.3 联系集的码	29
2.5 实体-联系图	29
2.5.1 E-R 图的主要构件	29
2.5.2 E-R 图的作用与好处	30
2.5.3 E-R 图举例	30
2.6 弱实体集	33
2.6.1 基本概念	33
2.6.2 分辨符	34
2.6.3 弱实体集的 E-R 图	34
2.6.4 数据库设计中弱实体集的处理	34
2.7 扩展 E-R 特性	35
2.7.1 特殊化	35
2.7.2 概括	36
2.7.3 聚集	37
2.8 数据库的 E-R 模式设计	38
2.8.1 E-R 模式设计的主要任务	38
2.8.2 E-R 模式设计中的问题	39
2.9 将 E-R 模式转换为表	39
2.9.1 为什么要将 E-R 模式转换为表	39
2.9.2 用表表示强实体集	40
2.9.3 用表表示弱实体集	40

2.9.4	用表表示联系集	40
2.9.5	用表表示多值属性	43
2.9.6	用表表示概括	43
2.9.7	用表表示聚集	43
小结	.....	44
习题	.....	44
3	关系模型	45
3.1	关系数据库的结构.....	46
3.1.1	基本概念	46
3.1.2	数据库模式	48
3.1.3	码	51
3.1.4	查询语言	52
3.2	关系代数.....	53
3.2.1	选择运算	53
3.2.2	投影运算	54
3.2.3	并运算	55
3.2.4	集合差运算	56
3.2.5	笛卡儿积运算	56
3.2.6	命名运算	58
3.2.7	关系代数的形式化定义	60
3.2.8	集合交运算	61
3.2.9	自然连接运算	61
3.2.10	除运算.....	63
3.2.11	赋值运算.....	64
3.3	关系演算.....	65
3.3.1	元组关系演算	65
3.3.2	域关系演算	66
3.3.3	表达式的安全性与等价性	66
3.4	扩展关系代数运算.....	67
3.4.1	广义投影	67
3.4.2	外连接	68
3.4.3	聚集函数	71
3.4.4	分组聚集	71
3.5	数据库的修改.....	72
3.5.1	删除	72
3.5.2	插入	73
3.5.3	更新	73
3.6	视图.....	73

3.6.1	什么是视图	73
3.6.2	视图的使用	74
3.6.3	实体化视图	74
小结	.....	75
习题	.....	75
4 SQL	.....	77
4.1 背景.....	.....	78
4.1.1 SQL 的起源 .....	.....	78
4.1.2 SQL 的标准 .....	.....	78
4.1.3 结构化查询语言 SQL .....	.....	78
4.2 基本结构.....	.....	79
4.2.1 select-from-where .....	.....	79
4.2.2 更名操作 .....	.....	80
4.2.3 字符串操作 .....	.....	81
4.3 集合操作.....	.....	82
4.4 聚集函数.....	.....	82
4.4.1 SQL 中的聚集函数 .....	.....	82
4.4.2 分组聚集 .....	.....	83
4.5 空值.....	.....	84
4.5.1 空值的测试 .....	.....	84
4.5.2 空值对 SQL 表达式的影响.....	.....	84
4.6 嵌套子查询.....	.....	84
4.6.1 集合成员资格的确认 .....	.....	85
4.6.2 集合的比较 .....	.....	85
4.6.3 集合基数的测试 .....	.....	85
4.7 派生关系.....	.....	86
4.8 视图.....	.....	86
4.9 数据库的修改.....	.....	87
4.9.1 删除 .....	.....	87
4.9.2 插入 .....	.....	87
4.9.3 更新 .....	.....	88
4.10 关系的连接 .....	.....	89
4.10.1 连接类型和条件 .....	.....	89
4.10.2 举例 .....	.....	89
4.11 SQL DDL .....	.....	92
4.11.1 SQL 中的域类型 .....	.....	92
4.11.2 SQL 的模式定义 .....	.....	93
4.11.3 模式的删除与修改 .....	.....	94

4.12	嵌入式 SQL	94
4.13	其他 SQL 特性	95
	小结	95
	习题	96
5	完整性约束与模式分解	97
5.1	域约束	98
5.2	参照完整性	98
5.2.1	基本概念	98
5.2.2	E-R 模型中的参照完整性	99
5.2.3	数据库的修改	100
5.2.4	SQL 中的参照完整性	100
5.3	断言	101
5.4	触发器	102
5.5	函数依赖	103
5.5.1	基本概念	103
5.5.2	举例	104
5.5.3	函数依赖集的闭包	105
5.5.4	Armstrong 公理	106
5.6	码与范式	106
5.7	关系数据库设计	107
5.8	模式分解	108
5.8.1	问题的提出	108
5.8.2	无损连接分解	110
5.8.3	规范化	110
	小结	112
	习题	112
6	数据库的物理设计	114
6.1	数据库设计的六阶段	115
6.1.1	数据库的设计过程	115
6.1.2	数据库的三级模式	117
6.2	数据库的物理组织	118
6.3	数据库的物理设计	119
6.4	数据的存储结构	120
6.5	数据的存取路径	121
6.6	物理设计的相关因素	122
	小结	123
	习题	123

7 存储结构和文件结构	124
7.1 物理存储介质	125
7.1.1 三级存储体系	125
7.1.2 磁盘	125
7.1.3 RAID	126
7.1.4 第三级存储	128
7.2 文件组织	128
7.2.1 定长记录	128
7.2.2 变长记录	131
7.3 文件中记录的组织	134
7.3.1 堆文件组织	134
7.3.2 顺序文件组织	134
7.3.3 散列文件组织	135
7.3.4 簇集文件组织	136
7.4 数据字典的存储	137
7.4.1 关系的元数据	138
7.4.2 用户的元数据	138
7.4.3 统计数据和描述数据	138
7.4.4 索引的元数据	138
7.4.5 系统表	138
小结	139
习题	139
8 索引和散列	141
8.1 基本概念	142
8.1.1 基本的索引结构	142
8.1.2 评价索引的标准	142
8.2 顺序索引	143
8.2.1 索引顺序文件	143
8.2.2 多级索引	144
8.2.3 索引的更新	145
8.2.4 辅助索引	147
8.3 B ⁺ 树索引文件	148
8.3.1 B ⁺ 树索引结构	148
8.3.2 B ⁺ 树索引的缺点	149
8.3.3 B ⁺ 树上的查询	150
8.3.4 B ⁺ 树的更新	150
8.3.5 B ⁺ 树文件组织	151
8.4 散列文件组织	152

8.4.1	散列文件的操作	152
8.4.2	散列函数	152
8.4.3	桶溢出控制	153
8.5	散列索引	154
8.6	顺序索引和散列的比较	155
8.7	SQL 中索引的定义	155
8.8	多码访问	156
	小结	157
	习题	157
9	查询处理	158
9.1	查询处理的过程	159
9.1.1	语法分析与翻译器	159
9.1.2	查询优化器	159
9.1.3	执行引擎	161
9.2	关系代数表达式的转换	161
9.2.1	等价规划	162
9.2.2	表达式转换举例	163
9.3	查询代价的度量	164
9.3.1	查询处理的代价	164
9.3.2	代价模型	164
9.3.3	用于估计代价的统计信息	165
9.4	实现关系运算的算法代价	165
9.4.1	选择运算	165
9.4.2	连接运算	166
9.5	表达式的求值方法	168
9.5.1	实体化计算方法	168
9.5.2	流水线计算方法	169
9.6	查询优化	170
9.7	查询优化器的构造	172
	小结	172
	习题	174
10	事务	175
10.1	事务的概念	176
10.1.1	背景知识	176
10.1.2	事务的特性	176
10.2	事务的状态	178
10.2.1	基本术语	178
10.2.2	抽象事务模型	179

10.3	原子性和持久性的实现	179
10.4	事务的并发执行	180
10.4.1	为什么要并发执行	180
10.4.2	调度	181
10.5	调度的可串行化	182
10.5.1	调度中指令的可交换性	182
10.5.2	冲突可串行化	184
10.5.3	视图可串行化	184
10.6	调度的可恢复性	185
10.7	隔离性的实现	186
10.8	SQL 中事务的定义	187
10.9	冲突可串行化的判定	187
10.9.1	判定方法	187
10.9.2	优先图	188
10.9.3	举例	188
	小结	190
	习题	191
11	并发控制	193
11.1	封锁协议	194
11.1.1	锁	194
11.1.2	基本的封锁协议	194
11.1.3	基本封锁协议的问题	196
11.1.4	两阶段封锁协议	197
11.1.5	加强的两阶段封锁协议	198
11.1.6	商用 DBMS 中封锁协议的实现	200
11.2	树形协议	200
11.2.1	树形协议的提出	200
11.2.2	树形协议内容	201
11.3	时间戳排序协议	202
11.3.1	时间戳	202
11.3.2	时间戳排序协议	203
11.3.3	Thomas 写规则	204
11.4	有效性检查协议	205
11.5	多粒度机制	206
11.6	多版本机制	206
11.7	死锁处理	207
11.7.1	死锁问题	207
11.7.2	死锁预防	207

11.7.3	死锁检测与恢复	209
11.8	插入与删除	210
11.8.1	删除	210
11.8.2	插入	210
	小结	211
	习题	212
12	数据库系统的体系结构	213
12.1	集中式系统	213
12.2	客户/服务器系统	214
12.3	并行系统	216
12.4	分布式系统	218
	小结	219
	习题	220
13	数据仓库	221
13.1	数据库技术的发展	222
13.2	数据仓库	223
13.2.1	数据仓库的概念	223
13.2.2	数据仓库的结构	227
13.2.3	数据仓库的特点	229
13.3	数据集市	230
13.4	数据仓库的开发过程	230
13.5	基于数据仓库的决策支持系统的解决方案	233
	小结	234
	习题	235
	附录 清华大学本科生课程概况	236
	参考文献	241

1 引 言

【学习目标】 本章从数据库和数据库管理系统这两个最基本的概念入手,引出数据库管理系统所涉及的问题,然后逐一概括地讨论这些问题。因此,本章的教学目标主要有两个,一是要求大家对数据库管理系统有一个初步的认识,并了解数据库管理系统的基本组成;二是要让大家了解这门设计与原理课都讲些什么内容,这些内容在数据库管理系统中的地位和作用如何。

【学习方法】 由于本章主要是一些基本概念的介绍,因此要求大家牢记这些概念,并把这些概念和大家已经学过的有关概念进行类比,以便加深理解,达到学习目标。

【学习指南】 本章的重点是 1.1 节、1.2 节、1.3 节、1.6 节和 1.8 节,难点是 1.2 节、1.3 节和 1.8 节。请大家仔细阅读参考教材的第 1 章“绪论”和参考书的第 1 章“引言”。

【预习思考题】

1. 数据管理经历了哪 3 个阶段?
2. 在文件处理系统中存储信息的弊端有哪些?
3. 什么是数据库管理系统? 它和数据库是一样的吗? 数据库管理系统涉及哪些主要的问题?
4. 数据抽象的目的是什么? 它分哪 3 个层次?
5. 什么是数据库的模式和实例?
6. 什么是数据独立性? 数据独立性又分为哪两个层次?
7. 什么是数据模型? 面向对象模型和 E-R 模型有哪一点主要差别? 而基于记录的 3 种数据模型之间又有什么差别?
8. 数据定义语言的作用是什么?
9. 什么是数据操纵? 数据操纵语言分为哪两类? 它们之间有什么差别?
10. 什么是事务? 它有哪些特性?
11. 存储管理器的作用是什么?
12. 数据库管理员的主要责任是什么?
13. 数据库管理系统主要由哪两个部件组成? 每个部件又由哪些部分构成? 各部分的主要功能是什么?
14. 你了解哪些商业数据库管理系统?

1.1 数据库管理系统的产生

1.1.1 数据管理的进展

数据管理随着计算机软硬件的发展而不断发展,40 多年来经历了以下 3 个主要阶段:

1. 人工管理阶段

主要是指 20 世纪 50 年代中期以前的这段时间,此时的计算机还很简陋,连完整的操作

系统都没有。因此,数据只能放在卡片上或其他介质上,进行手工管理。

2. 文件系统阶段

主要是指 20 世纪 50 年代后期到 20 世纪 60 年代中期的这段时间,此时的计算机已经有了操作系统。在操作系统基础之上建立的文件系统已经成熟并广泛应用。因此,人们自然想到用文件把大量的数据存储存储在磁盘这种介质上,以实现数据的永久保存和自动管理及维护。

3. 数据库管理系统阶段

主要是指 20 世纪 60 年代后期以后,由于数据库管理系统的诞生,通过数据库管理系统管理大量的数据,不仅解决了数据的永久保存,而且真正实现了数据的方便查询和一致性维护问题,并且能严格保证数据的安全。

数据库应用在我国于 20 世纪 80 年代达到高峰,大量的联机处理系统把工作人员从以前繁杂且容易出错的手工操作中解脱出来,不仅提高了工作效率,精简了机构和人员,而且方便了用户。这样的大型系统有“全国民航售票系统”、“银行前台业务处理系统”、各种服务行业的“客户管理系统”等。

1.1.2 文件处理系统

在数据库管理系统出现以前,把需要管理的数据存放在永久性的系统文件中,同时为了能够操作这些文件里的数据,系统里还有针对这些文件编写的应用程序。如银行为了保存所有客户及储蓄账户的信息,可能包括如下应用程序:

- (1) 创建新账户的程序;
- (2) 处理某账户的借贷程序;
- (3) 查询账户余额的程序;
- (4) 产生每月财务报告的程序。

这种典型的文件处理系统是传统的操作系统所能支持的。随着银行业务的发展,需求不断增长,随之新的数据文件和应用程序就会不断地加入到系统中来。例如支票账户的信息与特殊处理——透支等。

虽然文件处理系统给数据管理带来了极大的方便,但是在文件处理系统中存储信息的弊端也是显而易见的。这些弊端主要表现在以下 7 个方面:

1. 数据冗余和不一致

数据冗余是指相同的信息可能在不同的地方(文件)重复存储。如某个客户的地址和电话号码既可能在由储蓄账户记录组成的文件里出现,也可能在由支票账户记录组成的文件中出现。数据冗余可能导致数据的不一致,即同一数据的不同副本不一致。如某个客户地址的更改可能只是在储蓄账户文件里得到反映,在系统的其他文件中却没有得到反映。

2. 数据访问困难

由于数据使用者的要求不断变化,需要不断地增加和修改程序才能满足新的要求。如